

MORFOLOGIA CÁRSTICA

POR

M. JULIVERT

MORFOLOGIA CÁRSTICA

Uno de los aspectos fundamentales del karst es el morfológico, aspecto que se manifiesta tanto en el estudio de los fenómenos de superficie como en los subterráneos. La morfología es el estudio de las formas. De las formas de relieve en superficie. De las subterráneas, en las cavernas.

La morfología de un país, de una cavidad, o de un conjunto de cavidades es el resultado de una acción dinámica. Muchas veces de un equilibrio entre fuerzas destructoras y generadoras.

La morfología subterránea estudia las diversas formas creadas en las cavernas, sus diferentes tipos, sus características y, también, su significado. Es decir que si bien la morfología, desde un punto de vista meramente descriptivo, es una ciencia estática, adquiere un carácter dinámico al buscar el significado de las formas que ha descrito, significado que conduce al planteamiento de importantes problemas referentes al origen y evolución de las cavidades.

Lo primero que se hace aparente a la vista del explorador en una caverna son sus características morfológicas. Son sus formas

de erosión bajo el aspecto de superficies lisas, los caos de bloques, las formas de reconstrucción. Todas ellas son huellas dejadas por un proceso vital de la caverna. Son huellas de su evolución y de su génesis.

En el estudio morfológico hay que considerar pues, ante todo, estas formas simples, estas huellas de la actividad de la cueva.

Las formas simples responden a tres grupos: formas de erosión, clásticas y de reconstrucción.

FORMAS DE EROSIÓN

Las formas de erosión están ligadas a la fase de creación de la caverna. Es el caso más sencillo de morfología. Con una morfología de erosión toma nacimiento una cavidad, cavidad que será, tan solo, un conducto simple, ya sea de desarrollo vertical o de desarrollo horizontal. La forma más simple, más primitiva, en un sentido genético, es la *galería a presión*, es decir, aquella que ha sido excavada por la acción erosiva del agua ejercida uniformemente sobre las paredes, suelo y techo de la cavidad. Su sección, redon-

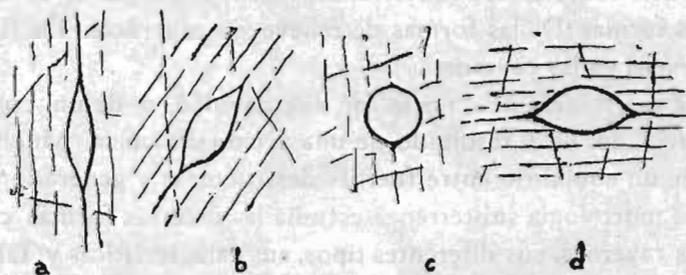


Fig. 1. — Secciones de galerías de erosión a presión. Su forma más esquemática es el tubo de erosión (c)

deada o elíptica, con un eje predominante vertical, horizontal o inclinado, depende de las influencias estructurales, es decir, de la disposición de las diaclasas o planos de estratificación. De todos modos, dentro de una cierta variedad de formas se mantiene la

característica común de una erosión uniforme sobre todos los puntos de la cavidad. Esta *galería a presión* es el ejemplo más simple de todas las formas de erosión. No existe complicación por conjugación de formas. Su ejemplo más típico puede considerarse una galería en *tubo de erosión*, con la sección circular.

La erosión no se ejerce sin embargo, siempre, en todos los puntos de la cavidad por igual. Es decir, no siempre las formas de erosión son producidas a presión hidrostática. Ello requiere unas dimensiones relativamente pequeñas de la caverna o un caudal muy grande en el curso hipogeo. Así pues hay que considerar otro tipo de formas. Entre ellas están las galerías que, de un modo

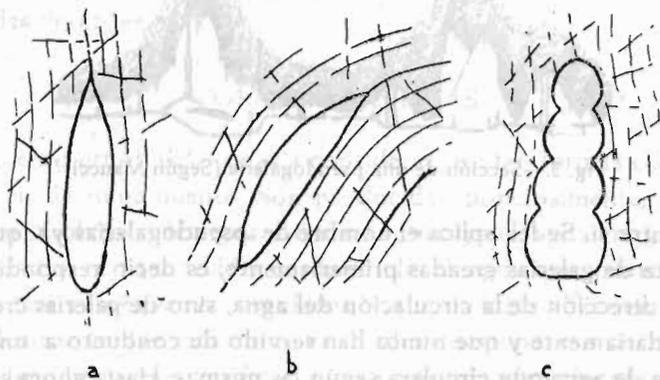


Fig. 2.—Galerías gravitacionales. Un caso particular de este tipo de galerías lo constituyen las galerías de conjugación (c)

general, pueden englobarse bajo el nombre de *galerías gravitacionales*. Con este nombre pueden comprenderse un conjunto de galerías, en las cuales la acción erosiva del agua, actúa sobre la base, sobre el suelo de la cavidad. La erosión va ahondando según la vertical. Las galerías se desarrollan en este sentido. Las formas que se obtienen son alargadas. A veces se obtienen formas de conjugación de marmitas o, más correctamente, de conjugación de galerías simples o galerías a presión.

En todas estas *galerías gravitacionales* la sección longitudinal

muestra una estructura uniforme. Su altura se mantiene constante y cuando existe alguna alteración se trata simplemente de algún punto donde la conjugación de galerías no ha tenido lugar completamente.

En estos casos, en que la circulación no tiene lugar a presión hidrostática, sino libremente, se crean formas idénticas a las de los ríos epigeos, tales como marmitas de gigante.

Finalmente un nuevo tipo queda por considerar: las *pseudogalerías*. En ellas la altura del techo varía en gran manera, en realidad se trata de un conjunto de conductos a presión unidos, fusiona-



Fig. 3.—Sección de una pseudogalería (Según Maucci)

dos entre sí. Se les aplica el nombre de pseudogalerías ya que no se trata de galerías creadas primariamente, es decir respondiendo a una dirección de la circulación del agua, sino de galerías creadas secundariamente y que nunca han servido de conducto a una corriente de agua que circulara según las mismas. Hasta ahora se han

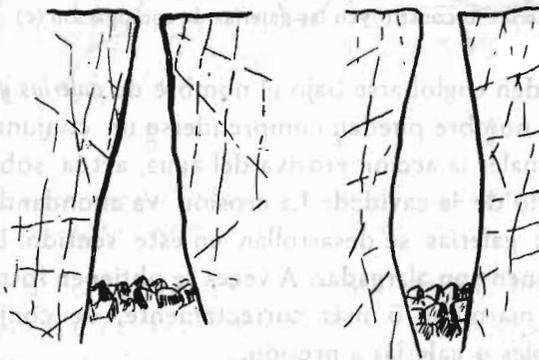


Fig. 4.—Sección de dos simas simples

considerado solo cavidades horizontales, sin embargo deben considerarse, también las *cavidades verticales*. Estas, a diferencia de las horizontales, caracterizadas por su gran variedad, son de características muy constantes. A este respecto hay que considerar las *simas simples*, de desarrollo vertical, en forma de embudo invertido, muy alargado. En él, las paredes van divergiendo hacia el fondo. Por lo general el pozo acaba en un cono detrítico. Es decir, que el cono detrítico posterior a la creación de la sima, no permite la observación de toda ella tal como se originó. En otros casos, a partir de cierta profundidad las paredes de la sima vuelven a juntarse, entonces parece como si la sima tendiera a la forma fusiforme. Formas ya más complejas derivan de la conjugación de las formas simples descritas.

FORMAS CLÁSTICAS

El otro grupo de formas a considerar son las formas clásticas, es decir de hundimiento. Son producidas, principalmente, por la acción disolvente del agua. Aquí no actúa ya el agua en grandes cantidades, con su acción mecánica. Es el agua que penetra por las grietas en pequeñas cantidades la que da lugar a fenómenos de decalcificación. De este modo va disolviéndose poco a poco la caliza, fenómeno que lleva consigo la pérdida de volumen de los bloques y, por consiguiente, su inestabilidad y finalmente su desprendimiento. La morfología clástica puede llegar a ser dominante en una determinada cavidad. La distribución de las diaclasas y su frecuencia, el ángulo con que el techo de la caverna corte las soluciones de continuidad de la roca, la importancia de las infiltraciones, la riqueza en anhídrido carbónico, todo ello influirá en el desarrollo de los fenómenos clásticos de una caverna.

FORMAS DE RECONSTRUCCIÓN

El tercer grupo de formas son las de reconstrucción, llamadas, también, litoquímicas. Su origen se debe, también, al agua que, en

pequeña cantidad, circula por las fisuras de la roca pero, a diferencia del caso anterior, aquí el agua tiene una acción de depósito, no de disolución. La variedad de formas de reconstrucción es enorme. A grandes rasgos pueden dividirse en dos grupos: de un lado las estalactitas, estalagmitas, cortinas estalactíticas, es decir todas aquellas formas con crecimiento según la vertical. De otra parte las pozas, coladas, costras estalagmíticas, es decir todas aquellas formas que se extienden en superficie. Dentro de cada uno de estos dos grupos existe un gran dimorfismo. Hay una serie de factores capaces de dar lugar a formas distintas según su importancia. Así, hay que considerar como factores de importancia: la rapidez de evaporación del agua, la facilidad de cesión del anhídrido carbónico, el tamaño de los conductos por los que el agua alcanza la cavidad, el caudal de agua circulante por estos conductos, la orientación de los conductos según los cuales el agua alcanza la cavidad. Todos estos factores influyen dando lugar a formas distintas, más delgadas o robustas, de crecimiento más rápido o más lento. El agua goteando con gran rapidez dará lugar, por ejemplo, a estalagmitas robustas, aplastadas. El agua retenida mucho tiempo en el techo de la cavidad favorecerá el desarrollo de estalactitas, por cuanto, dará tiempo a que tenga lugar una evaporación y, por tanto, al depósito de carbonato cálcico. Variaciones en los factores descritos traerán como consecuencia que una misma estalactita o estalagmita presente composición de formas distintas. La disposición de los conductos influirá también. El agua que llega a la cavidad a través de planos de estratificación o diaclasas que alcanzan la caverna con una cierta inclinación puede producir formas con doble crecimiento: según la vertical y según la prolongación de estos planos. Estos factores pueden llegar a alterar la proporción relativa de estalactitas y estalagmitas en una caverna y dar lugar, incluso, a la existencia de una sola de estas formaciones, siendo así que, en esquema, deben encontrarse equilibradas.

No puede pretenderse aquí enumerar los diversos tipos de formaciones litoquímicas, la gran diversidad de tipos de columnas,

cortinas, los tipos de estalactitas excéntricas, para muchos de los cuales, a veces, hay que buscar explicaciones particulares. El otro grupo de formas de reconstrucción son aquellas que se extienden en superficie. A veces recubren el suelo de las cavidades en grandes extensiones formando verdaderas coladas. Su origen es, en definitiva, el mismo que para las formas verticales, es decir el depósito de carbonato cálcico cedido por las aguas sobresaturadas. Sin embargo, aquí, es el agua que resbala por el suelo de la cavidad la que da lugar a tales depósitos. Su presencia, igual que la presencia de estalagmitas, indicará ante todo una interrupción en la circulación torrencial por la cavidad, interrupción temporal o definitiva. Igual que para el depósito de las formas de desarrollo vertical, se requiere un agua circulando lentamente, un agua tranquila, de lo contrario existiría acción erosiva o bien acción de transporte de materiales detríticos. Una lámina de agua prácticamente en reposo, que se extiende por el suelo de una cavidad dará lugar a la formación de *pozas* («gours») por depósito de carbonato cálcico en su frente, detenido por cualquier obstáculo o, incluso, por tensión superficial. Una pequeña lámina de agua resbalando por una pendiente dará lugar a una colada estalagmítica. Así pues, la creación de estas formas que se extienden en superficie por el suelo de la caverna, igualmente que la formación, en él, de estalagmitas, será un indicio de que, en aquella época, la cavidad fué hidrológicamente inactiva. Esta inactividad puede ser definitiva o puede ser temporal. En este caso, después de un cierto período de inactividad, las aguas vuelven a alcanzar la caverna. El agua circulante podrá, entonces, encontrar a su paso formaciones litoquímicas, originadas en la época de inactividad, y por tanto podrá producir una erosión en ellas. Entonces estas formaciones litoquímicas presentan formas de erosión y adquieren, caracteres especiales. En estos casos se trata de formas de erosión que se han producido tomando como substrato en el que originarse, unas formas litoquímicas. A veces estas formaciones se encuentran en forma de costras, entre sedimentos de origen aluvial.

En estos casos señalan momentos de interrupción en la sedimentación. Momentos de interrupción en la actividad hídrica de la caverna.

SUPERPOSICIÓN DE FORMAS, EVOLUCIÓN MORFOLÓGICA DE UNA CAVERNA

Estos tres tipos de formas no se encuentran, generalmente, aislados. Por lo general coexisten en una cavidad, testigo, cada una de ellas de una actividad distinta, de un momento diferente en la evolución de la caverna y que, al superponerse entre sí, dan a la cavidad su aspecto morfológico actual.

Una cueva no es un fenómeno estático. Desde su nacimiento sigue una evolución que la conduce, primero, a alcanzar sus máximas dimensiones. Luego, a partir de un momento dado, la cavidad va destruyéndose hasta desaparecer. En cada uno de los momentos de su evolución, que responde a un tipo distinto de actividad, se produce un tipo diferente de morfología. En un estado previo, cuando aun no puede hablarse de cavidad, será la corrosión la que tendrá un papel predominante, por este motivo no existen cavidades más que en aquellas rocas susceptibles de sufrir disolución. Para ejercer su acción erosiva el agua necesita estar cargada de *anhídrido carbónico*, necesita un cierto *tiempo* para actuar, una circulación rápida produce erosión, no corrosión, necesita, sin embargo, *ser substituída* para evitar sobresaturaciones. Todos estos factores, unidos a la diaclasación hacen posible el nacimiento de una cavidad. A partir de un determinado momento empieza a actuar la erosión. Entonces es cuando empieza a existir la caverna propiamente como tal. En primer lugar la morfología de una caverna es, pues, de *erosión*. Son el tipo de formas ligadas al nacimiento de la caverna. De *erosión turbillonar*, primero, de *erosión libre*, después. Es el momento en que se producen en la cueva *formas juveniles*. Es decir, la caverna posee una *morfología juvenil*. Esta morfología juvenil está ligada a unas escasas dimensiones de la cavi-

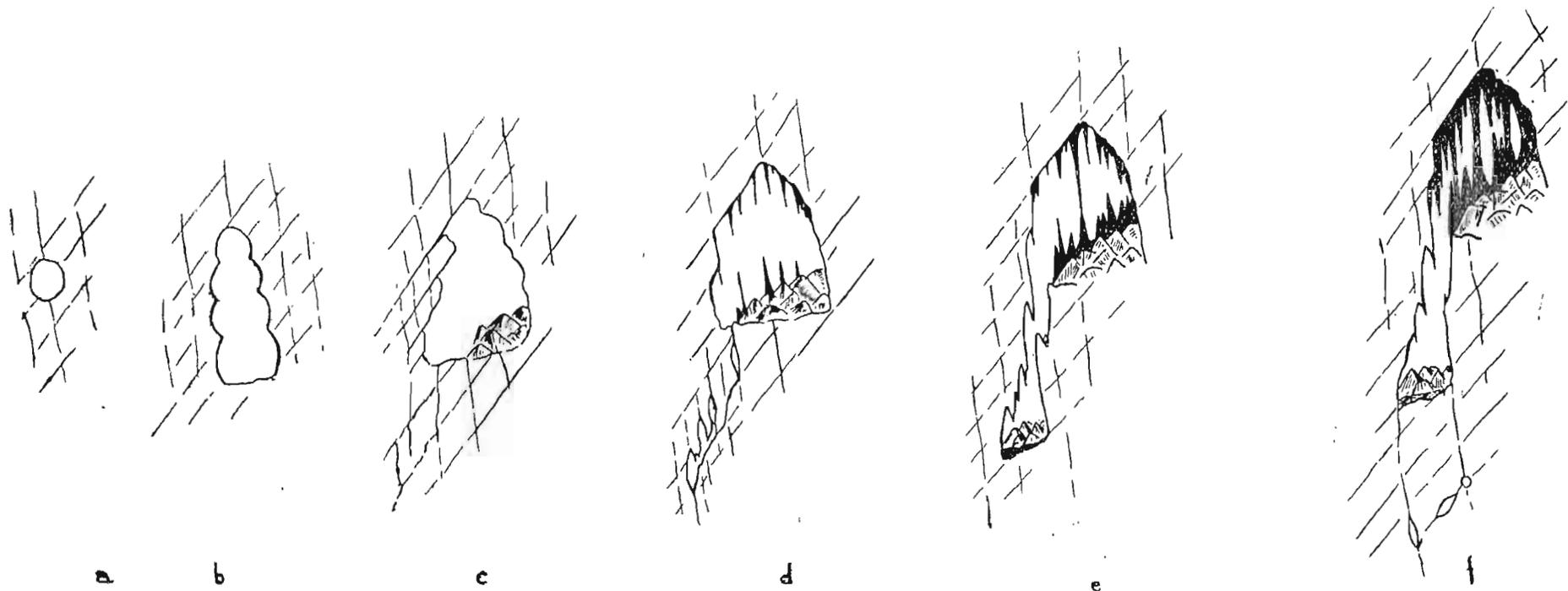


Fig. 5.—Evolución morfológica de una cueva.—a) Fase juvenil con formas de erosión a presión, sección en tubo de erosión.—b) Galería gravitacional con formas de conjugación de marmitas.—c) Principio de morfología clástica, que coexiste aún con formas de erosión. La cueva está en su fase de madurez.—d) Se inicia en la cavidad la morfología de reconstrucción. Empieza asimismo el abandono de la caverna por el agua que excava unos cauces mas profundos.—e) Las aguas han abandonado definitivamente la cavidad que empieza a sufrir fosilización por litogénesis.—f) Morfológia senil en la cavidad superior. La nueva cavidad empieza a ser a su vez abandonada por las aguas que excavan conductos mas profundos.

dad. Tan pronto como esta empieza a alcanzar cierto desarrollo empieza, también, a producirse una superposición de formas distintas. La acción erosiva sigue agrandando la cueva. De una *galería a presión* se pasa a una *galería gravitacional o de conjugación*. El agua circula libremente. La erosión se deja sentir, solo, en la parte baja de la cavidad. A la parte alta llega agua de infiltración que da lugar a decalcificaciones en los bloques. Una nueva fase empieza. Una nueva morfología empieza a producirse. La *morfología de hundimiento*. Procedentes del techo y paredes de la cavidad se acumulan gran cantidad de materiales clásticos. La cueva adquiere una *morfología de madurez*. En ella las formas clásticas tienen gran importancia si bien no borran totalmente las huellas de la erosión.

Por otra parte, como el agua continúa circulando, temporal o perennemente, por la caverna, algunos de los bloques desprendidos pueden presentar huellas de erosión. A la vez se forman las primeras formas litoquímicas, el agua llega a través de las fisuras con gran poder disolvente pero, en determinadas ocasiones, puede llegar suficientemente cargada de carbonato cálcico como para dar lugar a las primeras formas de reconstrucción. En estos casos es frecuente que se formen estalactitas. Las estalagmitas son, en cambio, más raras ya que su existencia estará siempre condicionada a la circulación que exista por la parte baja de la caverna. En efecto las estalagmitas solo podrán formarse en las zonas no sumergidas bajo las aguas o bien en épocas en que el agua deje de circular por la caverna. Las variaciones de caudal o interrupciones en la circulación podrán dar lugar a la formación, y posterior erosión, de estalagmitas. Estas formas litoquímicas son, sin embargo, escasas. No es hasta la fase que seguirá a esta fase de madurez cuando la morfología litoquímica alcanza su máximo desarrollo. La evolución de la caverna entra en un nuevo período cuando las aguas abandonan la cavidad. Una elevación general del país, por ejemplo, puede ser causa de este abandono. Las aguas buscan cauces más profundos, entonces empieza una infiltración a través de las grietas del suelo de la caverna. A niveles más bajos se forman

conductos con morfología juvenil. Se abren pozos en la primitiva caverna y el agua acaba abandonando definitivamente la cavidad, entonces empiezan a predominar el tercer tipo de formas: las formas litoquímicas. La cueva entra en la última fase de su evolución. Su morfología es una *morfología senil*. Las formas litoquímicas recubren todas las demás y las enmascaran, hasta llegar a hacerlo totalmente. La cueva entonces presenta exclusivamente una *morfología de reconstrucción*. Estos procesos litoquímicos llegan a ser tan importantes que no solo enmascaran todo otro tipo de morfología sino que llegan a borrar la primitiva distribución de la cueva, subdividiendo salas, cerrando pasos, de tal manera que, muchas veces, resulta difícil descubrir sus primitivas características. Si estos procesos reconstructivos continúan con suficiente intensidad pueden llegar a rellenar completamente la cavidad, entonces se dice que la cavidad ha sido *fosilizada*. La caverna, como tal, desaparece. Se transforma en una *cavidad fósil*. La fosilización es el fin natural de toda caverna. Ella no tiene lugar, solo por litogénesis. El aluvionamiento puede intervenir también. La fosilización por aluvionamiento no tiene lugar, como la litoquímica, después del abandono de la cavidad por las aguas. Es en la fase de actividad de la cueva cuando se acumulan en ella materiales detríticos, de grano grueso o fino, arrastrados por las aguas y depositados en ellas. Los aluviones, arenas, arcillas, que se observan en las cuevas han sido depositados en épocas de actividad, por las aguas torrenciales o tranquilas, según el tipo de materiales. Esta fosilización por aluvionamiento puede ser completa, en cuyo caso la cavidad desaparece. Las *formas fósiles* no son en este caso asequibles a la observación más que cuando las corta una explotación, una cantera o la trinchera de un ferrocarril o de una carretera. Sin embargo, formas solo parcialmente fosilizadas son muy frecuentes. En estos casos los aluviones, arcillas, arenas, se disponen, muchas veces, en el fondo de la cavidad ocupando toda la parte inferior y siendo los responsables del carácter plano del suelo de la misma. A veces se disponen formando verdaderas terrazas hipogeas, en estos ca-

Los ha habido erosión posterior a su depósito. Estas terrazas hipogeas tienen las mismas características que las terrazas epigeas. Los conos de deyección son también corrientes, especialmente los conos de arcilla que, procedentes de la decalcificación de las calizas, se acumulan, a veces, en grandes cantidades.

EVOLUCIÓN INCOMPLETA DE UNA CUEVA

El nacimiento de una cavidad lleva consigo una etapa de fuerte erosión. La evolución de una cueva puede considerarse acabada cuando se fosiliza, es decir cuando la cueva desaparece como cavidad. A este resultado puede llegarse a través de todos los procesos descritos, sin embargo no siempre la evolución de una caverna es tan completa, tan perfecta. Es posible que la cavidad deje de pasar por alguno de los momentos ennumerados antes, deje de presentar alguna de las morfologías descritas. A este respecto es interesante insistir sobre los tres conceptos de *cavidad muerta*, *cavidad senil* y *cavidad fosil*, conceptos distintos entre sí. Cavidad muerta es aquella por la que ha dejado de circular el agua, independientemente de la morfología que tenga. Cavidad senil es la que presenta una morfología con abundantes formas litoquímicas, es decir con predominio de los fenómenos de reconstrucción. Cavidad fosil es la que ha sido completamente rellena por depósito de carbonato cálcico, arcilla, aluviones, es decir, aquella que ha dejado de ser, en realidad, una cavidad. Si se desarrollara perfectamente la evolución descrita antes, una cavidad llegaría al estado de cavidad muerta con una morfología de madurez, para iniciar una morfología senil. Esta finalmente conduciría a una fosilización. Es decir que los tres conceptos, aun en una evolución normal son diferentes. Pero, además, una cavidad puede tener una evolución más sencilla, en que no pase por todos los estados descritos antes. Una caverna puede ser abandonada por las aguas de su fase juvenil, es decir, antes de haber alcanzado suficientes dimensiones para entrar en una fase de madurez. Entonces se obtendrá una ca-



verna muerta pero con morfología juvenil. En ella podrán tener lugar depósitos litoquímicos hasta, incluso, enmascarar completamente sus formas de erosión. La cueva habrá pasado entonces a una morfología senil, e incluso podrá llegar a una total fosilización, sin haber pasado nunca por una etapa de madurez. Una cueva en estado también juvenil, o de madurez, puede ser fosilizada por aluvionamiento. La caverna pasa al estado fósil sin haber pasado nunca por las fases de madurez y senilidad, en el primer caso, o por la senilidad en el segundo. Podrán existir, por tanto, cavernas fosilizadas al estado juvenil, o con una morfología de madurez. Así pues, hay que tener en cuenta esta serie de hechos para llegar a una interpretación correcta de las cavidades.

MORFOLOGÍA POLICÍCLICA

Con lo que acaba de decirse se ha esbozado la evolución morfológica de una caverna, que es, a la vez, su evolución hidrológica. La evolución expuesta es una evolución esquemática, sencilla. A partir de un momento en que la caverna empieza a formarse se suceden una serie de formas, una serie de morfologías diferentes y, aunque la caverna pueda dejar de pasar por alguna de sus etapas evolutivas, en ningún momento se retrocede a una etapa evolutiva ya pasada. Sin embargo, es posible que una cueva, en un grado más o menos avanzado de fosilización, vuelva a ser invadida por las aguas. Entonces se inicia una nueva fase erosiva, tanto más intensa cuanto más avanzada estaba la etapa de fosilización. En este caso, a la morfología existente en la cueva se superpone una nueva etapa erosiva, una nueva morfología de erosión, que puede llegar a borrar todas las huellas que hayan dejado las etapas anteriores. Entonces se dice que la cueva ha entrado en un nuevo ciclo. Un nuevo tipo de morfología aparece, la *morfología policíclica*. Cuantos más ciclos haya habido en la vida de una cueva, más difícil será poner de manifiesto las huellas dejadas por los primeros. Este policiclismo hipógeo puede estar en relación con un

políciclisto epigeo con lo cual se relacionan ambos tipos de morfología, la externa y la interna.

Este esbozo de evolución morfológica da una idea de la gran variedad de formas que pueden presentarse en las cavidades subterráneas. No solo por la superposición de formas, de morfologías, sino por la composición de pozos y galerías de origen diverso, es decir por la composición de cavidades diversas, en distinto grado de evolución.

ESTADOS DE EVOLUCIÓN DISTINTOS EN UNA MISMA CAVIDAD

Todo esto lleva a considerar las cavidades con una disposición en pisos. En ellas es frecuente que existan diversas morfologías. Es decir, que los diferentes niveles de galerías comunicados por simas respondan a diversos estados de evolución y, por tanto, a formas morfológicas distintas.

Es frecuente en un sistema de cavidades que, mientras las galerías superiores sean de típica *morfología senil*, de reconstrucción, las medias lo sean de *madurez*, con abundantes formas clásicas y las inferiores *juveniles* con formas exclusivamente de erosión. En estos casos las cavernas superiores son las de edad más antigua y se hallan ya en período de relleno, tienden a la fosilización. Las galerías medias, creadas cuando las superiores fueron abandonadas por las aguas, están en fase de madurez pero empiezan a ser abandonadas por el agua o, a veces, lo han sido ya. Los fenómenos litoquímicos no son, aun, muy importantes. Las cavernas son de grandes dimensiones. Las galerías más inferiores son las de reciente creación. Muchas veces no son asequibles a la exploración, si bien su presencia se deduce del estudio hidrológico, o bien, a veces, se alcanzan aunque no son explorables por estar llenas de agua en su totalidad. Todos estos grupos de galerías frecuentemente se encuentran unidos por pozos que representan el camino seguido por las aguas en su sucesivo ahondar en busca de cauces más profun-

dos, es decir, en su sucesivo abandono de las cavidades más superiores. En estos casos la caverna, denominando así a todas las cavidades relacionadas entre sí, no es una unidad genética ni morfológica.

CAVIDADES SIMPLES Y COMPUESTAS: CUEVAS Y SIMAS

Otro hecho llama la atención al hacer estas consideraciones: la existencia de dos tipos fundamentales de cavidades. Formas de desarrollo horizontal: las *cuevas* o *galerías*. Cavidades de desarrollo vertical: *simas* o *pozos*. Las cavidades con inclinaciones intermedias son escasas y, aun, en la mayoría de los casos, deben su origen a una evolución compleja y no son de origen primario.

Todo esto, por otra parte, lleva a otro concepto: el de *cavidades simples* y *cavidades compuestas*. Es decir, de un lado aquellas cavidades que conservan siempre un mismo grado de inclinación, que tienen siempre el carácter de cueva o sima. De otro lado aquellas en las cuales existen sectores con inclinaciones diferentes, es decir *compuestas de galerías y pozos*. Así pues, el pozo o sima y la galería o cueva son los dos elementos más simples de una cavidad cárstica y en definitiva, los elementos en que puede disgregarse una cavidad compuesta.

MORFOLOGIA DEL CURSO COMPLETO DE UN RIO HIPOGEO

Después de lo esbozado referente a la evolución de una caverna y a la existencia de cavidades con zonas en distinto momento evolutivo conviene considerar a la caverna como unidad hidrográfica. Es decir, considerar las características morfológicas de un curso subterráneo completo, desde un principio hasta su resurgencia al exterior. Para ello puede tomarse un curso en su fase de madurez. Se prescinde, ahora, de las formas que presente. Su morfología será la típica de madurez. No interesa ahora el conoci-

miento de las formas de la caverna sino el conocimiento de la caverna en sí. Para ello puede considerarse una caverna ideal, completa, asequible en todo su recorrido, sin más galerías ni pozos que aquellos que son hidrológicamente activos. Entonces pueden observarse una serie de tipos de perfiles, una serie de tipos de cavernas de desarrollo distinto.

En algunos casos se observa que el curso subterráneo es una *cavidad simple*. En tales casos, naturalmente, dicha cavidad simple es una gruta. El agua penetra por un sumidero que no es más que la continuación del cauce epigeo y, después de un cierto recorrido, resurge en un punto dando lugar, de nuevo, a un curso epigeo que no es más que una continuación del río hipogeo. En estos casos, en realidad, se trata de un río único en el cual un fragmento de un curso es subterráneo. No existe un verdadero río hipogeo diferenciado. El perfil del fragmento subterráneo no es más que un fragmento del perfil general del río. A veces el paso subterráneo se traduce en el perfil por una cierta ruptura de pendiente. Otras veces es una perfecta continuación de los fragmentos epígeos. Aquí las zonas de absorción, de conducción y de resurgencia tienen idénticas características.



Fig. 6.—Sección de un curso hipogeo cuyo perfil es la continuación del perfil del curso epigeo que lo origina.

En otras ocasiones el curso subterráneo se inicia por una sima, sima que se abre al exterior en una dolina, en un valle ciego, o simplemente en un valle epigeo. En este caso hay una verdadera diferencia entre el curso epigeo y el hipogeo, incluso, en determinados casos, como cuando la sima se abre en una dolina, ésta representa el verdadero nacimiento del río. En los casos en que el

río hipogeo nace a partir de un curso epigeo existe una verdadera ruptura de pendiente entre ambos cursos. El agua penetra en profundidad por una sima, es decir por un conducto vertical. Parece como si el agua, en esta primera parte de su recorrido quisiera alcanzar ya su máxima profundidad, para discurrir ya, después, a

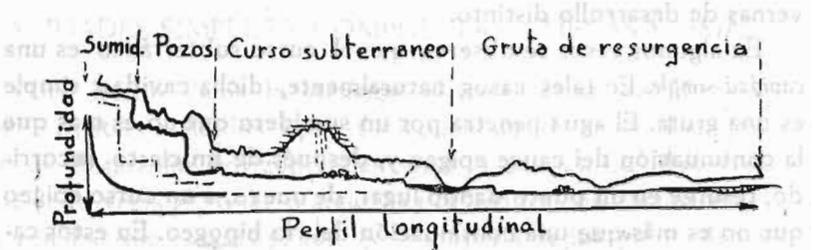


Fig. 7.—Sección longitudinal de un curso epigeo individualizado. Su perfil se acerca al de un río epigeo (Segun Segre)

través de galerías horizontales. Un esquema de un curso subterráneo de este tipo puede ser, pues, un conjunto de pozos, de profundidad cada vez menor, ligados todos a la zona de absorción. Estos pozos, de dimensiones cada vez menores, conducirían luego, a una galería de escasas complicaciones topográficas y, finalmente, a una galería uniforme: la gruta de resurgencia. Según este esquema las simas estarían ligadas principalmente a la zona de absorción, las cuevas a la conducción y resurgencia. Sin embargo, así como existen sumideros de desarrollo horizontal y otros verticales, pueden darse, también, resurgencias verticales. No se trata, en este caso, de simples galerías ascendentes, de carácter subhorizontal, que deben clasificarse dentro de las resurgencias de galería, es decir entre las cuevas. Se trata de verdaderas simas con carácter de resurgencia. En estos casos la resurgencia vertical está determinada, muchas veces, por la presencia de un accidente tectónico (falla, verticalidad de los estratos) que obliga al agua a ascender por aparecer bruscamente un nivel impermeable. En otros casos, por no ser suficiente la boca normal de resurgencia para dar paso a todo el caudal que llega hasta ella, el agua asciende en busca de otras salidas y aprovecha simas que fueron excavadas como

sumideros o abre verdaderas simas ascendentes para buscar nuevas salidas. Este problema se aparta, ya, sin embargo, de la morfo-



Fig. 8.—Resurgencia ascendente del agua por causas tectónicas. Tal tipo de resurgencias puede dar lugar a simas de desarrollo ascendente.

logía para entrar plenamente en el campo de la hidrología subterránea, por ello no se va insistir aquí sobre lo mismo. Todos las cavidades consideradas hasta ahora tienen un punto claro de absorción y otro de emisión, es decir, corresponden a lo que podrían denominarse *cursos hipogeos alóctonos*. Sin embargo existen casos en que la absorción se realiza difusamente, a través de diaclasas o de campos de lapiaz y es en profundidad donde las aguas se agrupan para dar lugar al curso hipogeo, curso que podría denominarse *autóctono*. Entonces la cavidad no responde completamente a los esquemas descritos, si bien puede identificarse con ellos suprimiendo la zona de absorción que, ahora, no forma un cauce diferenciado. Del mismo modo puede darse el fenómeno contrario, o bien la cavidad puede representar, solo, un fragmento del curso sin

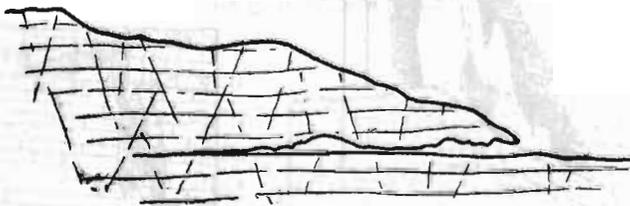


Fig. 9.—Sección longitudinal de un río autoctono.

más relación asequible con el exterior que un hundimiento secundario. Ya se ha indicado antes que los casos considerados anteriormente eran casos en los que se suponía un curso diferenciado

a lo largo de todo el recorrido seguido por las aguas. En los demás casos, en realidad, son válidas las mismas consideraciones, teniendo en cuenta, solamente, que se trata, tan solo, de fragmentos de este curso.

CAVIDADES INVERSAS, GÉNESIS DE LAS CAVIDADES

Vistas las características de un curso subterráneo considerado individualmente, puede plantearse un nuevo problema: el problema genético. No se pretende aquí entrar en discusión sobre la génesis de las cavidades más que en el grado que sea de interés para ilustrar algunas consideraciones morfológicas. A este respecto, si bien se ha descrito ya la evolución de las cavidades, es interesante insistir en el aspecto meramente genético, es decir de creación de la cavidad en su fase más primitiva.

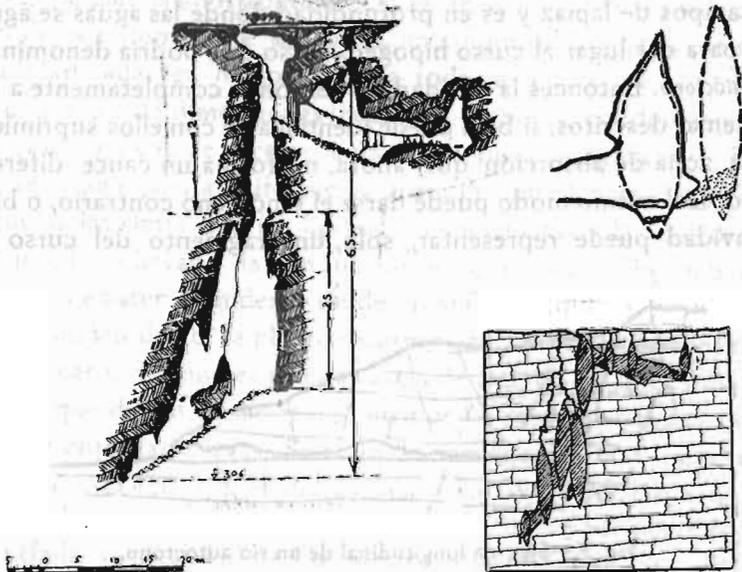


Fig. 10.—Ejemplo de un sumidero por erosión inversa. Caverna situada entre Basovizza y Gropada. Se trata de una sima compuesta que puede descomponerse en las diversas cavidades fusiformes que la constituyen (Según Maucci)

Después de una fase en que es la corrosión la que juega el principal papel agrandando las grietas de la roca, y una vez estas dejan pasar ya suficiente cantidad de agua, empieza el verdadero papel de la erosión. En este momento es cuando se plantea el problema del sentido en que ésta actúa. Es decir si las cavidades empiezan a formarse de fuera a dentro o bien si se inician en el interior y se abren, posteriormente, en superficie. De aquí nace el concepto de cavidades inversas. Las cavidades inversas son de desarrollo vertical. De ahí la forma de embudo invertido de las simas simples. El agua da lugar, en profundidad, a cavidades fusiformes que si se abren en superficie dan lugar a simas simples, en forma de huso o de embudo inverso por acumulación de materiales clásticos fosilizándola en parte. La unión entre sí de varias de estas simas fusiformes da lugar a una sima compuesta, con pseudo galerías pero, en la cual, puede hacerse la descomposición en sus partes simples. De este modo se observa que la cavidad no es más que un conjunto de formas en huso, de desarrollo vertical.

EL RETROCESO DEL CURSO

En estos sumideros inversos es frecuente el fenómeno del *retroceso del curso*. Este fenómeno consiste en que el sumidero tiene un desarrollo en sentido contrario al de la circulación por el curso epigeo. Este hecho es una consecuencia de las características genéticas de este tipo de sumideros. El agua que circula por el curso epigeo se infiltra a través de las diaclasas y, de este modo, se forman en profundidad cavidades fusiformes de desarrollo vertical. Una de ellas acaba abriéndose en superficie. El curso de agua se

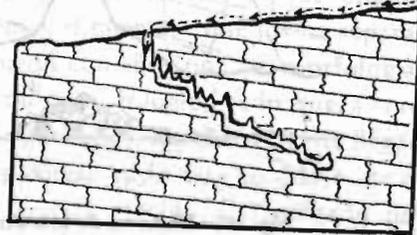


Fig. 11.—Esquema de un sumidero inverso mostrando el fenómeno del retroceso del curso (Según Maucci)

precipita por su entrada y, cuando la cavidad alcanza suficiente desarrollo, el curso epigeo queda seco aguas abajo de la misma.

Las cavidades que allí se habían formado no reciben nuevas aportaciones de agua y no prosiguen su desarrollo. Aguas arriba, en cambio, las condiciones no han variado. De este modo, por agradamiento de las cavidades tienen lugar fusiones entre ellas fusiones que tienden a que la cueva se desarrolle aguas arriba del curso epigeo y por debajo del mismo.

LAS SIMAS DE HUNDIMIENTO

Hasta ahora todos los tipos de simas descritos tienen un carácter funcional, su origen se debe a la erosión, ya sea por su carácter de sumidero por erosión inversa, ya sea por su carácter de sima ascendente, de resurgencia vertical. Existen, sin embargo, también otro tipo de simas. Tal son las simas de hundimiento. Es decir aquellas que se han originado por hundimiento de la bóveda de una cavidad subterránea porque nunca han desempeñado un papel desde un punto de vista hidrogeológico, es decir que no han funcionado ni como sumideros ni como resurgencias. Tal tipo de simas, muchas veces, forma la entrada de una caverna, de una cavidad que, de este modo, se abrió secundariamente al exterior.



Fig. 12.—Esquema de una sima de hundimiento

Las simas de hundimiento pueden tener lugar, a veces, en terrenos no carstificables y deben su origen a la existencia de masas

calizas recubiertas por otro tipo de rocas no carstificables. De es- modo una carstificación oculta puede ponerse de manifiesto por la existencia de simas de hundimiento.

CAVIDADES DIRECTAS

Por contraposición a las *cavidades* inversas, abiertas de abajo arriba, pueden considerarse, también, las *cavidades directas* que tendrían su origen en superficie y crecerían hacia el interior. Pueden considerarse grutas directas aquellos sumideros que siguen la misma dirección que el curso superficial y son de desarrollo horizontal.

CONCLUSIÓN

Con esto se ha enjuiciado la cavidad como unidad hidrológica. Sin embargo, una caverna casi nunca representa un cauce único y completo de un río hipogeo. Una caverna, generalmente no es una unidad desde el punto de vista hidrológico. No presenta, tampoco, un único tipo de forma sino la superposición de muchas de ellas que se enmascaran entre sí. No tiene, muchas veces, un único tipo de morfología. Una cueva es, en muchos casos, un conjunto de fragmentos de diversos cursos subterráneos, de épocas, estados evolutivos y características distintas. Fragmentos que tienen de común formar una unidad topográfica. Fragmentos que una evolución complicada ha ligado entre sí mientras que los ha separado de otros, a veces mas en relación con ellos por su morfología o por su génesis. El paciente estudio morfológico es lo que, a través de una correcta interpretación de todos los datos puede llegar a dilucidar los problemas que plantean todo este conjunto de elementos y dar una satisfactoria interpretación al significado de la caverna.

RÉSUMÉ

Dans ce travail on résume et met au point les connaissances sur la morphologie karstique souterraine dans ses différents aspects; statique et dynamique.

SUMMARY

Studies upon subterranean carstic morphology in both aspects, static and dynamic, are summed up and brought up to date in the present article.

BIBLIOGRAFIA

CHEVALIER, P.—1953. *Erosion ou corrosion. Essai de contrôle du mode de creusement des réseaux souterrains*, I Congr. Int. de Spél., tom. II, pp. 35-39, Paris.

FRANC, C.—1953. *Sur la formation des gouffres de bas en haut*, I Congr. Int. de Spél., tom. II, pp. 33-34, 4 figs., Paris.

GALVAGNI, A. Y PERNA, G.—1953. *Contributo alla morfologia dei prodotti argilloso-sabbiosi di riempimento delle caverne*, Rassegna Spel. Italiana, año V, fasc. 3, pp. 89-101, 15 figs., Como.

LLOPIS LLADO, N.—1950. *Sobre algunos principios fundamentales de morfología e hidrología cárstica*, Estudios Geográficos, año XI, núm. 41, pp. 643-679, 7 figs., VI lams., Madrid.

LLOPIS LLADO, N.—1953. *Karst holofossile et merofossile*, I Congr. Int. Spel., tom. II, pp. 41-50, 5 figs., Paris.

LLOPIS LLADO, N.—1953. *El medio de la instalación de las cavernas*, Munibe, tom. V, núm. 1, pp. 22-31, 9 figs., San Sebastian.

LLOPIS LLADO, N.—1953. *La erosión subterránea*, Munibe, tom. V, núm. 2, pp. 107-116, 10 figs., San Sebastian.

LLOPIS LLADO, N.—1953. *Evolución de las cavernas*, Munibe, tom. V, núm. 3, pp. 168-176, 7 figs., San Sebastian.

LLOPIS LLADO, N.—1954. *Nociones de Espeleología con la descripción de la zona de la Piedra de San Martín (Navarra)*, I vol., 72 pp., 11 figs., VIII lams. fotos, III gráficos, Edit. Alpina, Granollers.

LLOPIS LLADO, N.—1954. *Sobre las características hidrogeológicas de la red hipogea de la sima de la Piedra de San Martín (Navarra)*, *Speleon*, tom. V, núms. 1-2, pp. 11-53, 10 figs., IV lams., Oviedo.

LLOPIS LLADO, N.—1955. *Glaciarismo y Carstificación en la región de la Piedra de San Martín (Navarra)*, *Geographica*, núm. 5-6, pp. 21-42, 14 figs., 9 fotos, 1 map. color, Zaragoza.

LLOPIS LLADO, N.—1955. *Quelques données géologiques sur le gouffre de la Pierre Saint Martin et quelques observations sur le réseau souterrain Larra- Sainte Engrace (Pyrénées-Occidentales)*, *Ann. de Spel.*, tom. X, fasc. 1, pp. 37-48, 5 figs., Paris.

LLOPIS LLADO, N. Y THOMAS CASAJUANA, J.—1953. *Estudio hidrogeológico de la vertiente meridional de Montserrat (prov. de Barcelona)*, *Speleon*, tom. IV, núm. 3-4, pp. 121-191, 17 figs., VI lams., Oviedo.

LLOPIS LLADO, N. Y ELOSEGUI, J.—1954. *Sobre las características del relleno de la sima de los Osos de Troskaeta-ko-kobea, (Ataun-Gui-púzcoa)*, *Munibe*, año VI, núm. 1, pp. 38-46, 1 fig., San Sebastian.

MARTEL, E.A.—1932. *L'évolution souterraine*, I vol., 388 pp., 80 figs., *Bibliot. de Phil. Scient.*, Ernest Flammarion Edit., Paris.

MARTEL, E.A.—1932. *Les abimes ou puits naturels*, *Assoc. Int. Hydrol. Sc.*, núm. 19, 6 pp., Paris.

MARTINEZ, J.A.—1956. *Sobre algunas formaciones estalactíticas curiosas observadas en la Cueva del Pevidal, M. Naranco (Oviedo)*, *Speleon*, tom. VI, núm. 3, pp. 155-158, 1 fig., Oviedo.

MAUCI, W.—1951-52. *L'ipotesi dell' "erosione inversa" come contributo allo studio della Speleogenesi*, *Boll. Soc. Adriatica di Sc. Nat.*, Vol. XLVI, pp. 1-60, 26 figs., Trieste.

MONTORIOL POUS, J.—1951. *Los procesos clásticos hipogeos*, *Rassegna Spel. Italiana*, año III, fasc. 4, pp. 119-129, 7 figs., 10 lams., Como.

MONTORIOL POUS, J.—1951. *Clave para la determinación de los procesos clásticos hipogeos*, *Speleon*, tom. II, núm. 4, pp. 235-237, Oviedo.

MONTORIOL POUS, J.—1954. *Resultado de nuevas observaciones sobre los procesos clásticos hipogeos*, *Rassegna Spel. Italiana*, año VI, fasc. 3, pp. 103-114, fig. 5, II lams., Como.

MONTORIOL POUS, J. Y THOMAS, J. MA.—1953. *Sobre la abundancia relativa, en las formaciones hipogeas, de estalactitas y estalagmitas, con algunas consideraciones sobre la morfología de las mismas*. Urania, núm. 235, pp. 1-8, 3 figs., Tarragona.

PITTARD, J.J. Y AMOUDRUZ, G.—1942. *Pertes des cavernes*, Revue Polytechnique, Bull. Soc. Suisse de Spél. (25-Aôut-42), 11 pp., 3 figs., Genève.

PITTARD, J.J. Y AMOUDRUZ, G.—1943. *Les gours*. Bull. Soc. Suisse de Spél. (núm. 25-juill.), 12 pp., 7 fotos, Genève.

RADZITZKY D'OSTBOWICK, BARON I. DE.—1953. *Notes en rapport avec l'Hidrogéologie des roches calcareuses*, Bull. Soc. Roy. d'Etudes Géol. et Archéol. "Les Chercheurs de la Walonie", tom. XV, 59. figs., Dinant.

REYMOND, A.—1953. *A propos d'un aven à plafond perforé du pays basque. Contribution a la théorie des avens*, I Congr. Int. de Spél., tom. II, pp. 29-31, 1 fig., Paris.

RUTTE, E.—1951. *Der fossile Karst der Südbadischen Vorbergzone*, Iber. U. Mitt. Geol. Ver. N. F. 33, pp. 1-43, 5 figs.

SEGRE, A. G.—1948. *I fenomeni carsici e la speleologia del Lazio*, Inst. de Georg. Univ. Roma, serie A, núm. 7, I vol., 239 pp., 22 figs., XIV lams., I map., Roma.

SUTTER, R. Y PITTARD, J.J.—1934. *Les Stalactites excentriques*, Rev. Politechnique, Bull. de la Soc. S. Spél., Genève.

TROMBE, F.—1952. *Traité de Spéléologie*, I vol., 376 pp., 112 figs., Payot, Paris.